

7.3.2 Réflexion et transmission.

Comme toutes les autres ondes, les ondes électromagnétiques qui arrivent à la frontière entre deux milieux, sont partiellement transmises et partiellement réfléchies. Nous allons calculer les fractions transmise et réfléchie dans le cas le plus simple.

La première simplification que nous ferons sera de travailler dans des milieux non magnétiques, ou, plus exactement, des milieux où la perméabilité magnétique μ est très proche de celle du vide μ_0 . Ce n'est pas une très grande perte de généralité, dans la mesure où seuls les matériaux ferromagnétiques (fer, nickel, cobalt, ferrites, et plusieurs oxydes de fer et autres métaux) ont des μ très différents de μ_0 .

La deuxième simplification consistera à ne traiter que l'incidence normale. C'est-à-dire que les ondes incidentes arrivent à l'interface entre les deux milieux perpendiculairement à la surface. Autrement dit, les plans caractéristiques de l'onde plane sont parallèles à l'interface. Cette simplification est beaucoup plus restrictive et elle nous éloigne de l'aspect "optique" des ondes électromagnétiques (loi de Snell, lentilles, prismes, etc.).

La dernière simplification consistera à ne pas traiter la réflexion sur des conducteurs (métaux et plasmas). Avec ceci nous ignorerons les miroirs. Comme la réflexion sur des conducteurs est, quand même, très importante, nous en parlerons un peu, mais sans faire de démonstrations ni de calculs.

Dans un milieu matériel, la vitesse v de la lumière est plus faible que c (dans le vide). On définit l'**indice de réfraction** du milieu n :

$$n = \frac{c}{v}$$

Dans les milieux isolants (diélectriques) n est toujours plus grand que 1, par exemple 1,33 pour l'eau et 1,5 pour le verre.

Dans un milieu matériel non magnétique $\mu_1 = \mu_0$ de perméabilité ε_1 on trouve:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0}} = \sqrt{\varepsilon_r}$$

L'indice de réfraction est égal à la racine carrée de la constante diélectrique.

Nous allons calculer l'amplitude des ondes transmises E_t et réfléchies E_r en fonction de l'amplitude E_i de l'onde incidente. L'amplitude des composantes magnétiques sera, respectivement, B_t , B_r et B_i .

Sans démonstration, les conditions limites que les composantes parallèles à l'interface des champs électriques et magnétiques, de chaque côté de l'interface, doivent satisfaire sont les suivantes:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_2 \\ \frac{B_1}{\mu_1} &= \frac{B_2}{\mu_2} \end{aligned}$$

où les indices 1 et 2 désignent les deux milieux.

Dans notre cas, comme nous ne considérons que les milieux non magnétiques, $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$, la deuxième équation se réduit à:

$$B_1 = B_2$$

De plus, comme nous ne traitons que l'incidence normale, tous les champs sont parallèles à l'interface, et les conditions de continuité doivent être satisfaites simplement par les amplitudes des ondes.

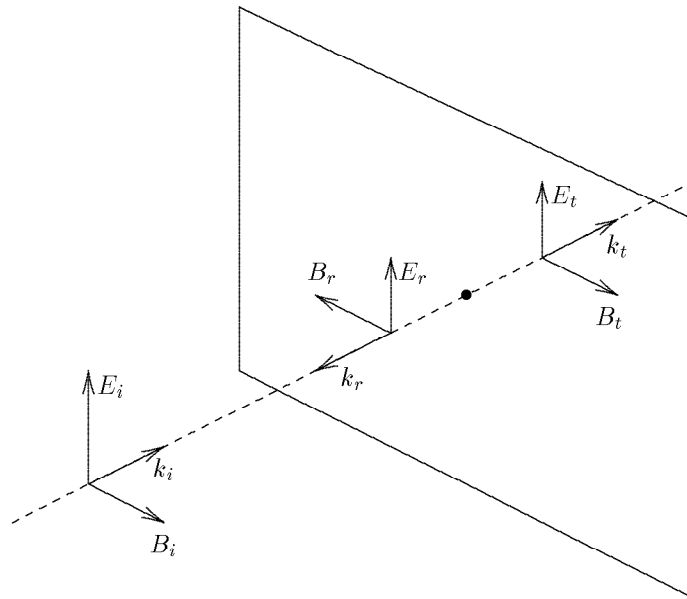


Figure 7.4 Réflexion d'une onde plane à l'interface entre deux milieux. Remarquez que aussi bien le k que le B ont changé de direction dans l'onde réfléchie.

Les conditions limites nous donnent:

$$\begin{aligned} E_i + E_r &= E_t \\ B_i - B_r &= B_t \end{aligned}$$

Mais $E = vB = \frac{c}{n}B$. Donc on peut remplacer les B dans la seconde équation par $B = \frac{n}{c}E$. Avec ceci, et après avoir éliminé c nous obtenons:

$$\begin{aligned} E_i + E_r &= E_t \\ n_1 E_i - n_1 E_r &= n_2 E_t \end{aligned}$$

la solution du système est:

$$\begin{aligned} \frac{E_t}{E_i} &= \frac{2n_1}{n_1 + n_2} \\ \frac{E_r}{E_i} &= \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \end{aligned}$$

Il est facile de constater que si $n_1 = n_2$, c'est-à-dire, si les deux matériaux ont les mêmes propriétés, l'onde réfléchie est nulle et l'onde transmise est égale à l'onde incidente.

On peut maintenant calculer la fraction de la puissance par unité de surface réfléchie. Comme nous sommes dans le même milieu et que la puissance par unité de surface est proportionnelle au carré des champs électriques:

$$\frac{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_r}{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_i} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

La fraction de puissance par unité de surface transmise sera égale à celle qui n'est pas réfléchie:

$$\begin{aligned} \frac{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_t}{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_i} &= 1 - \frac{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_r}{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_i} = 1 - \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \\ \frac{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_t}{(\mathcal{P}/\mathcal{S})_i} &= \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2} \end{aligned}$$